



Łukasiewicz

Instytut Lotnictwa

Badanie wpływu spalin emitowanych przez silniki turbinowe statków powietrznych na poziom zanieczyszczeń w obrębie i okolicy lotnisk istniejących i nowo projektowanych.

Materiał szkoleniowy dotyczący minimalizowania szkodliwego oddziaływania spalin emitowanych przez silniki turbinowe statków powietrznych

Warszawa, 28.10.2022

Formalna podstawa opracowania

Umowa Nr 109/2020/PW-PB w sprawie finansowania projektu nr II.PB.22 tytuł : „Badanie wpływu spalin emitowanych przez silniki turbinowe statków powietrznych na poziom zanieczyszczeń w obrębie i okolicy lotnisk istniejących i nowo projektowanych” w ramach programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” – V etap, okres realizacji: lata 2020-2022, koordynowanego przez Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, realizowanego w ramach części B – program realizacji projektów w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych.

Zespół Łukasiewicz – Instytut Lotnictwa

dr inż. Paweł Głowacki

dr inż. Piotr Kalina

mgr inż. Damian Maciorowski

Porządek prezentacji

1. Wprowadzenie
2. Ciąg startowy zredukowany
3. Optymalizacja czasu podejścia
4. Holowanie samolotów na start

Wprowadzenie



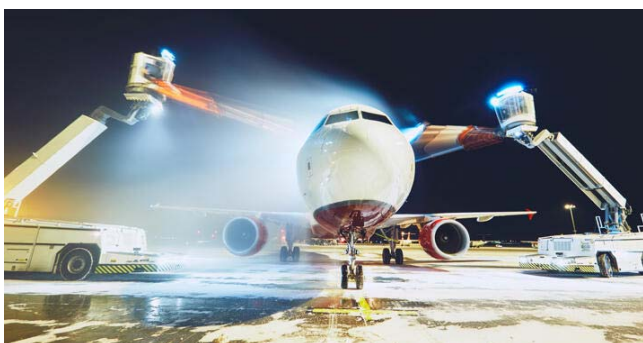
Gorące spaliny

Źródła zanieczyszczeń związanych z działalnością lotnictwa



Promieniowanie elektromagnetyczne

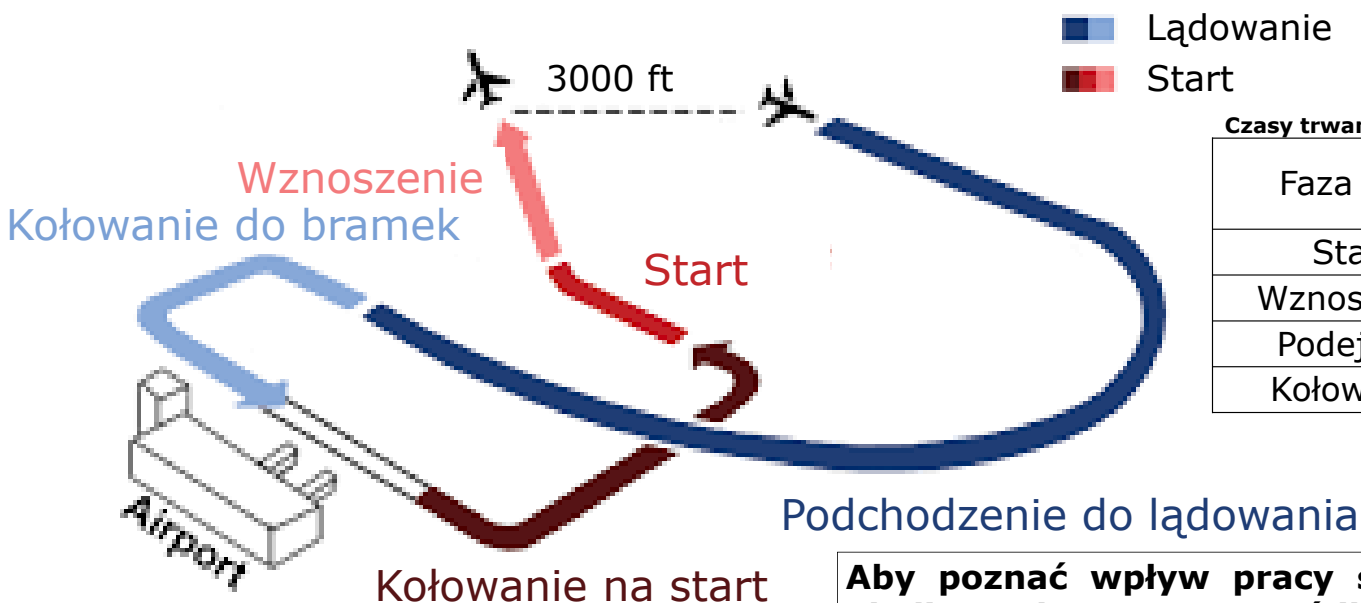
SOURCE: <https://dziennikpolski24.pl/radar-wzbudza-strach/ar/3323203>



Środki chemiczne

Można wyodrębnić zakłócenia ekosystemu lotnisk jako:
Naziemne: promieniowanie elektromagnetyczne (radary, radiostacje), środki chemiczne do mycia i odladzania samolotów, pasów startowych i dróg kołowania, rozlane paliwo i oleje, wzniesienie kurzu, hałas i spaliny wydzielane przez silniki przemieszczających się pojazdów.
Samolotowe: olbrzymie ilości gorących spalin wydalanych z silników z dużą prędkością, kilkukrotnie większą ilość powietrza doprowadzaną do otoczenia z kanałów zewnętrznych silników z dużą prędkością.

Cykl LTO wg. ICAO - standard szacowania emisji



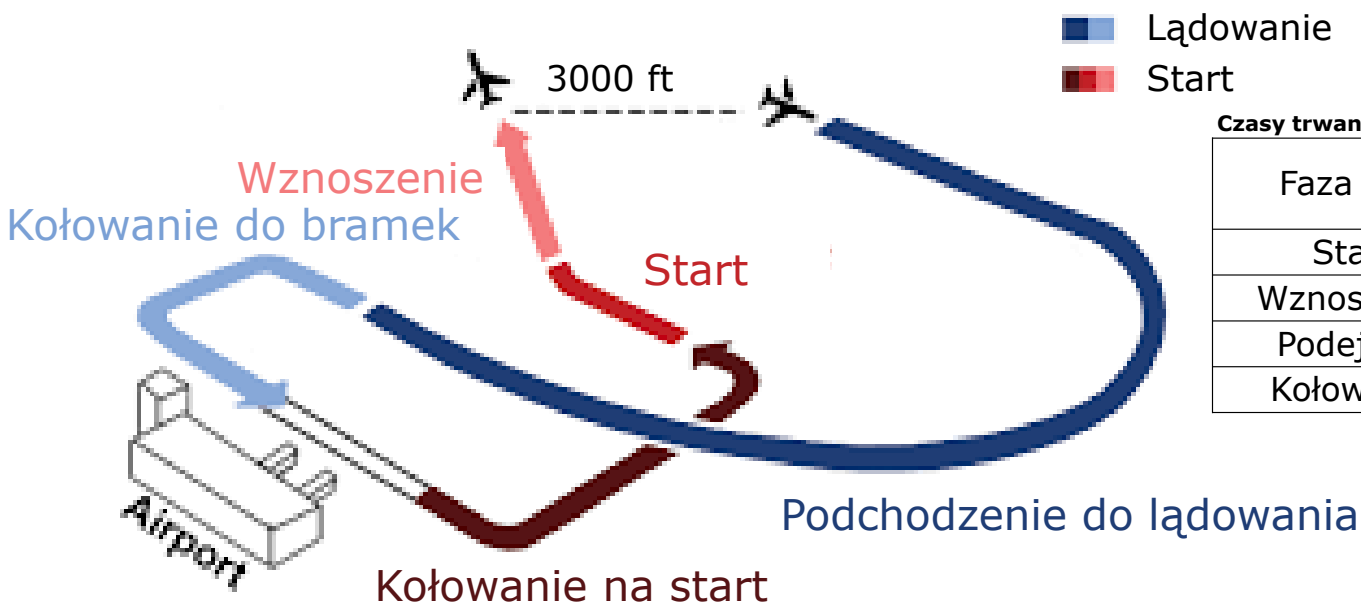
Czasy trwania poszczególnych faz lotu wg ICAO LTO

Faza lotu	Ciąg [%]K _{TO}	Czas [min]
Start	100	0.7
Wznoszenie	85	2.2
Podjeście	30	4.0
Kołowanie	7	26.0

SOURCE: <http://aes.propulsion.gr/emissions.html>

Aby poznać wpływ pracy silników lotniczych na jakość powietrza w okolicy należy wyznaczyć ilość szkodliwych substancji emitowanych do otoczenia. Właściwym jest wyznaczanie poziomu emisji w tak zwanym cyklu startu i lądowania LTO. Parametry określające ten cykl są różne i przyjmują wielkości w zależności od tego czy silniki przeznaczone są do napędu samolotów poddźwiękowych czy naddźwiękowych. Dla silników poddźwiękowych dodatkowo emisja NO_x obliczana jest różnie, w zależności od daty ich wyprodukowania, ciągu startowego i sprężu i to tylko dla tych z ciągiem powyżej 26.70 kN.

Metoda Łukasiewicz – Instytut Lotnictwa uwzględniająca uśrednione czasy manewrów samolotu w cyklu LTO



■ Lądowanie
■ Start

Czasy trwania poszczególnych faz lotu wg metody Łukasiewicz - ILOT

Faza lotu	Ciąg [%]K _{TO}	Czas [min]
Start	100	0.72 (+1.4%)
Wznoszenie	85	1.27 (-42.4%)
Podejście	30	4.45 (+11.3%)
Kołowanie	7	19.15 (-26.3 %)

Dodatkowo wyznaczono rzeczywisty średni czas trwania poszczególnych faz lotu w oparciu o lotnicze rejestratory pokładowe. Wyniki właściwe dla obu metod zostały zebrane w tabeli porównawczej

Roczna emisja wybranych toksycznych cząstek w Porcie Lotniczym im Fryderyka Chopina

Cykl LTO	Emisja CO ₂ [t]	Emisja NO _x [t]	Emisja CO [t]	Emisja HC [t]
Wg ICAO	219343	822	819	65
Z uwzględnieniem uśrednionych czasów manewrów samolotów	162750	712	601	49

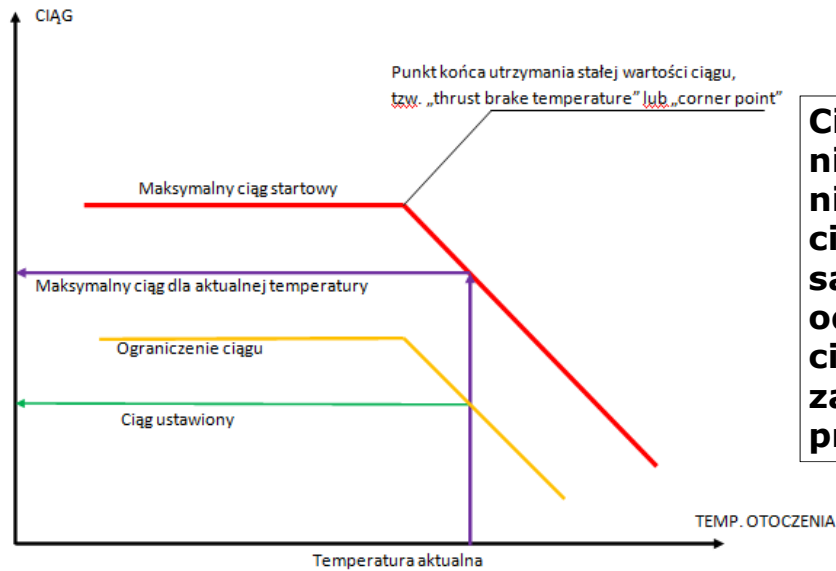
Redukcja ciągu startowego

Dążąc do obniżenia zużycia paliwa i przedłużenia trwałości silników, zalecane jest dopasowywanie ich ciągu do masy zabieranego ładunku i liczby pasażerów znajdujących się na pokładzie. Unika się sytuacji, gdy niemal pusty samolot startuje na maksymalnym zakresie pracy silników. W praktyce eksploatacyjnej stosuje się w warunkach startowych tzw. ciąg startowy zredukowany lub elastyczny, jak również ograniczony ciąg startowy.

Faza lotu	Ciąg [%]K _{TO}	Czas [min]
Start	100	0.7
Wznoszenie	85	2.2
Podejście	30	4.0
Kołowanie	7	26.0

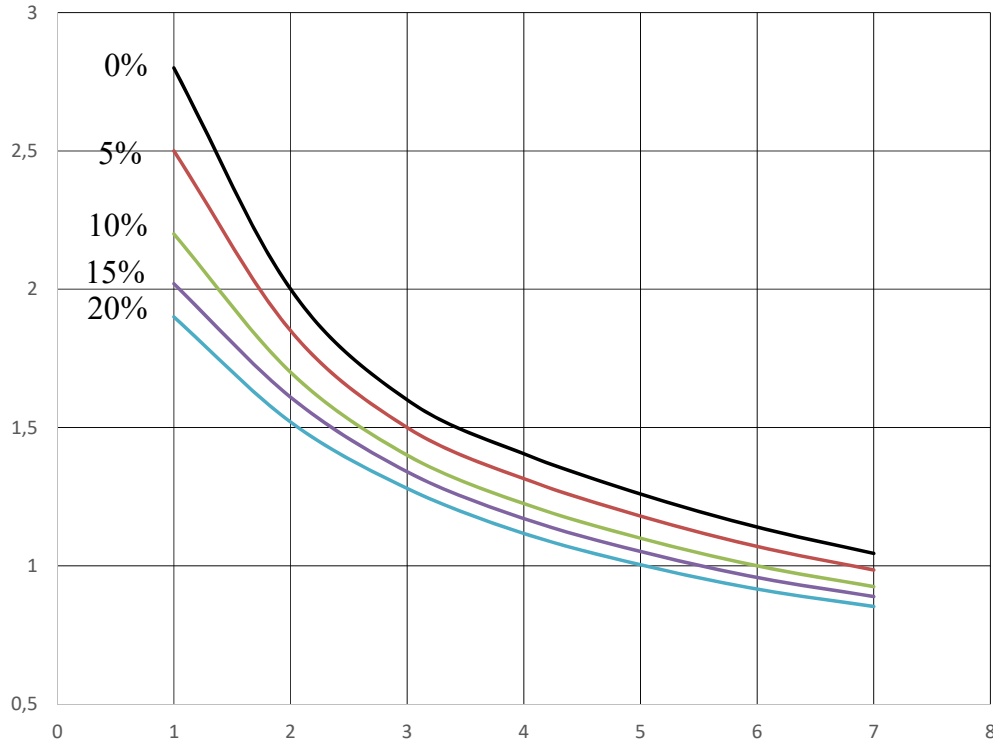


<https://www.aircraftnerds.com/2018/02/what-is-aircraft-thrust.html>



Ciąg zredukowany jest to ciąg niezbędny do startu samolotu niższy od ograniczonego ciągu startowego, a osiągnięty samolotu podczas startu i odpowiadające im wartości ciągu określone są w zaaprobowanej przez producenta dokumentacji

Redukcja ciągu startowego



Zależność współczynnika „intensywności” eksploatacyjnej od czasu lotu i redukcji ciągu silnika podczas startu w [%]

Stosowanie elastycznego ciągu silników ma również istotne znaczenie w przypadku negocjacji kontraktów serwisowych. Im wyższa średnia procentowej redukcji ciągu stosowana przez operatora, tym niższa wysokość opłat serwisowych. Na rysunku obok przedstawiono zależność współczynnika „intensywności” eksploatacyjnej od czasu trwania lotu, czyli długości jednego cyklu pracy silnika, dla różnych wartości redukcji ciągu podczas startu samolotu.

Wykorzystanie optymalnych wielkości ciągu startowego silników ma wymierne efekty nie tylko w zwiększeniu ich żywotności, obniżeniu zużycia paliwa i obniżeniu kosztów serwisowych, ale także wpływa na redukcję emisji toksycznych składników spalin. W przyszłości może być to o tyle istotne, że możliwe jest wprowadzenie swoistego podatku od wielkości emisji tlenków azotu, tlenku węgla i niespalonych węglowodorów w przestrzeni lotnisk.

Optymalizacja czasu podejścia

Optymalizacja czasu podejścia samolotu do lądowania pozwoliłaby znacząco zmniejszyć ilość emitowanych szkodliwych substancji. Jak wykazała analiza danych z pokładowych rejestratorów lotu – rzeczywisty czas trwania podejścia do lądowania jest 27 sekund dłuższy niż przewiduje standard ICAO. Skrócenie czasu podejścia o te 27 sekund pozwoliłoby zmniejszyć emisję CO₂ oraz NO_x o około 10% dla tej fazy lotu.



<https://assets.puzzlefactory.pl/puzzle/249/685/original.jpg>

Dzienne emisje niektórych składników spalin w porcie lotniczym im. Fryderyka Chopina

Manewr	Dzienna emisja CO ₂ [kg]	Dzienna emisja NO _x [kg]	Dzienna emisja CO [kg]	Dzienna emisja HC [kg]
Start	64 438	588	12	0,6
Wznoszenie	94 034	690	18	1,1
Podejście	112 950	419	118	3.6
Kołowanie	174 425	250	1 497	128
70% kołowania	122097,5	175	1048	90

Holowanie samolotów na start

Na podstawie dostarczonych danych obliczono, że 70% całkowitego czasu kołowania zajmuje ruch samolotu do startu, a tylko 30% po wylądowaniu. Około 90% tlenku węgla i około 96% węglowodorów jest emitowanych podczas kołowania. W trakcie tej fazy cyklu LTO silniki lotnicze pracują na bliskim jałowym zakresie ciągu, wtedy temperatura przed turbiną jest stosunkowo niewielka.



<https://www.ifm.com/responsive/large/fourbythree/content/gallery/de/shared/branchen/mobile-arbeitsmaschinen/transport-und-logistik/mobile-machine-transport-logistik-aircraft-tractor.jpg?v=499083100>

Dzienne emisje niektórych składników spalin pochodzących od ciągników wykonujących 250 holowań

Dzienna emisja CO ₂ ciągników w Porcie Lotniczym im. Fryderyka Chopina [kg]	Dzienna emisja CO ciągników w Porcie Lotniczym im. Fryderyka Chopina [kg]	Dzienna emisja NO _x + HC ciągników w Porcie Lotniczym im. Fryderyka Chopina [kg]
4763	4	25

Gdyby wprowadzono zasadę holowania samolotów na start, nawet przez ciągniki napędzane silnikami spalinowymi można oszacować, że nastąpiłaby znaczna redukcja emisji CO₂ i CO. W tabeli obok przedstawiono dzienną emisję pochodzącą od ciągników napędzanych silnikiem spalinowym, wykonujących 250 holowań na start.

Holowanie samolotów na start i optymalizacja czasu podejścia do lądowania

Cykl	Emisja CO ₂ [t]	Emisja NO _x + HC [t]	Emisja CO [t]
LTO ICAO	219343	887	819
LTO z uwzględnieniem uśrednionych czasów manewrów samolotów.	162750	761	601
LTO Hipotetyczny, po wprowadzeniu proponowanych zmian operacyjno-technicznych	115746	657	215



<https://www.ifm.com/responsive/large/fourbythree/content/gallery/de/shared/branchen/mobile-arbeitsmaschinen/transport-und-logistik/mobile-machine-transport-logistic-aircraft-tractor.jpg?v=499083100>

Wprowadzenie zaproponowanych zmian operacyjnych i technicznych na lotnisku im. Fryderyka Chopina zmniejszyłoby emisję dwutlenku węgla w stosunku do LTO definiowanego przez ICAO o około 47%, tlenków azotu i węglowodorów o około 26%, tlenku węgla o około 74%. Natomiast w odniesieniu do LTO uwzględniającego uśrednione czasy manewrów, CO₂ o około 29%, NO_x + HC o około 14% i CO o około 64%.

Podsumowanie

Badanie wykazało, że lokalnie poziomy NO_x są wyższe od akceptowalnego poziomu, co oznacza, że procedura redukcji ciągu silnika podczas startu samolotu powinna być w miarę możliwości ściśle wdrażana. Ustawienia ciągu silnika należy również optymalizować podczas fazy wznoszenia.

Dla każdego lotniska winno się opracować procedury operacyjne optymalizujące czas manewru podejścia.

Należy również rozważyć zaprojektowanie takiego układu dróg kołowania by umożliwić holowanie samolotów z terminala do pasa startowego.